

ACONDICIONAMIENTO DE AIRE MEDIANTE DESHUMIDIFICACION Y ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

Luis Cardón*, Gabriel Chiarito** y
Graciela Lesino**

INENCO#, Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177 - 4400 Salta

Resumen

Se presenta el diseño y construcción de un sistema de acondicionamiento de aire mediante absorción enfriamiento evaporativo. Componen el sistema el acondicionador propiamente dicho, los colectores regeneradores de la solución absorbente y un prototipo de vivienda. El prototipo de vivienda ha sido construido en el campus de la UNSa y el equipo acondicionador y el sistema de distribución de solución se encuentran en las etapas finales de construcción y ensayo.

Se presenta también una metodología de dimensionamiento del equipo acondicionador basada en un análisis del ciclo sicrométrico. Se obtiene que las áreas de transferencia de masa involucradas solo dependen de la carga térmica total y no de la proporción de sus componentes (carga térmica sensible y latente) expresada como relación de entalpía-humedad, y de lo que llamaremos parámetros externos del equipo que son la temperatura del agua de enfriamiento disponible y la temperatura y concentración de la solución absorbente.

Introducción

El acondicionador de aire de tipo deshumidificación enfriamiento evaporativo (1,2) que se ha desarrollado se muestra esquemáticamente en la fig. 1. Es del tipo denominado abierto, ya que si bien el aire recorre un ciclo cerrado pasando del ambiente acondicionado al equipo y luego retornando al ambiente, el vapor de agua que entra al equipo de acondicionamiento tomado por la solución absorbente es entregado a la atmósfera en la etapa de regeneración.

En el primer trabajo mencionado (1) se estudiaron las alternativas de diseño, de las que se eligió el presente. En (2) se midieron los coeficientes de transferencia de masa que se utilizan en este trabajo.

El ciclo realizado por el aire se muestra en la fig. 2. El ciclo involucra un proceso de deshumidificación, (1,2), una etapa de enfriamiento sensible (2,3), enfriamiento evaporativo (3,4). La etapa (4,1) se realiza a lo largo de la línea de estado del espacio definida por la relación entalpía humedad correspondiente al confort deseado y a la carga térmica.

El ciclo descrito se realiza en el equipo esquematizado en la fig. 1. En ella, las etapas I, II y III señaladas además como deshumidificador, intercambiador y enfriador evaporativo corresponden a los procesos (1-2), (2-3) y (3-4) respectivamente.

Los procesos (1-2) y (3-4) presentan una gran similitud. Ambos son procesos de transferencia de masa; en uno del aire hacia la solución, en el otro del agua hacia el aire. Desde el punto de vista teórico y experimental estos procesos están caracterizados por sus coeficientes de transferencia de masa, los que a su vez, dependen de la temperatura de los fluidos (ya que las propiedades físicas de los fluidos, densidad, viscosidad, etc. dependen de la temperatura) y fundamentalmente del área disponible para la transferencia de masa y las condiciones de contacto y flujo entre el aire y los líquidos. Por estos motivos es de importancia el estudio experimental de diversos tipos de relleno adecuados para que extiendan la superficie libre de los líquidos en contacto con el aire que exponga toda su superficie a ese contacto y que a la vez ofrezca poca resistencia al paso del aire a través de los mismos. La literatura referente a estos coeficientes de transferencia es abundante para tipos de rellenos comerciales

* Becario del CONICET

** Investigador del CONICET

Instituto UNSa. - CONICET

pero inexistente para casos de menor escala y para rellenos que podremos llamar caseros. Otro aspecto a considerar es que dada la pequeña longitud de los equipos de transferencia a usar las transferencias que ocurren en las entradas y salidas de los equipos, aún antes de que el aire entre en contacto con el líquido sobre las superficies provistas por el relleno, son notables y deben ser tenidas en cuenta ya que de otra manera contribuirán aumentando los coeficientes de transferencia obtenidos para el relleno.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se ha decidido diseñar y construir solo las etapas I y II de nuestro equipo, de manera que, utilizando la etapa I tanto como humidificador como deshumidificador se pueda ganar experiencia para un más ajustado diseño de la etapa restante. Pensando como un equipo experimental se ha construido el equipo que se comenta a continuación.

Equipo de transferencia de masa

Para un prediseño de este equipo se han utilizado los coeficientes de transferencia de masa obtenidos en un trabajo precedente (2) que con correcciones se dan en la tabla I. El cálculo se hizo sobre la base de un relleno de tela y con la metodología de diseño que detallamos luego. De este cálculo resulta que para una carga térmica de 500 W se requiere un área de transferencia 82 m². Esta superficie debería estar disponible y en contacto con aire en nuestro equipo.

TABLA I

Flujo de aire	Razón de transferencia masa
316 m ³ /hr	1.095 EE-6 Kg/m ² seg
272 m ³ /hr	0.695 EE-6 Kg/m ² seg

El equipo consiste en una caja donde se puede insertar una estructura cúbica de alambre donde se disponen las telas de manera que estas puedan colocarse paralela o transversalmente al flujo. En la parte superior de la caja se dispone de un distribuidor de líquido por goteo y de los accesorios necesarios para insertar boquillas de aspersión, así se puede experimentar la transferencia a partir de telas, de gotas, de microgotas producidas por aspersión y de telas móviles sobre rodillos que giran a bajas revoluciones. Para esta última alternativa se ha previsto que la batea recolectora de líquido tenga suficiente espacio para alojar este sistema.

La fig. 3 muestra un dibujo desglosado del equipo. A la entrada y salida de la caja se han colocado bridas de chapa con orificios en sus cuatro costados para la toma de presión estática que permitirá la medición de la pérdida de carga ocasionada por el relleno.

Se ha realizado algunas experiencias a medida que se construyó este equipo. Cabe destacar que el relleno de telas utilizado (7.5 metros cuadrados de tela de yute colocados en forma paralela al flujo de aire en láminas paralelas entre sí con una razón de espaciamiento de .6 telas/cm) no produjo caída de presión apreciable, aunque también se ha notado un fuerte flujo de aire por los espacios laterales y por las bateas de distribución y recolección de líquidos que deben ser evitados. En contrapartida cuando se colocaron dos telas juntas cubriendo toda el área frontal de flujo a la salida del equipo con la idea de que actuara como supresor de gotas arrastradas, la caída de presión registrada alcanzó valores mayores de 3 mmca.

Otros equipos

Se ha construido también la etapa de enfriamiento sensible y el sistema de distribución de solución.

La fig. 3b muestra el acople del equipo de transferencia de masa al intercambiador de calor. Ha sido elegido un radiador de automóvil Renault 6, pero se considera necesario para desarrollos futuros adecuar el área frontal del intercambiador a la del equipo de transferencia.

Se ha aprovechado el ducto de retorno de aire al ambiente para instalar en el un medidor de caudal de placa orifico. Las medidas de caudal son imprescindibles tanto para la definición de los coeficientes de transferencia de masa, como para la evaluación de la performance del equipo.

Finalmente se ha construido el sistema de distribución de solución que debe regular varios cometidos, recircular la solución concentrada en el equipo de deshumidificación, recircular la solución diluida por los colectores regeneradores, e intercambiar la solución de los tanques de concentrada a diluida y viceversa cuando se requiera. Para ello se utilizó un sistema de cañerías y válvulas que requiere además de los dos tanques de solución de trabajo un tanque intermediario para impedir la mezcla de las soluciones, de manera que se utiliza solo una bomba principal y una pequeña bomba de lavarropa para la recirculación

en el equipo de deshumificación.

Los colectores regeneradores son parte del mismo techo de chapa del prototipo de vivienda.

Metodología de dimensionamiento

Se ha realizado un análisis de las variables de diseño que intervienen en el dimensionamiento del acondicionador en cuestión. La variable de mayor interés es el flujo de aire a recircular ya que conjuntamente con la carga higrotérmica determinará las áreas de transferencia de calor y masa en el equipo a diseñar. Notaremos que el conocimiento de la carga higrotérmica presupone el conocimiento de las condiciones de confort. Otros parámetros de importancia que llamaremos externos son la concentración de la solución, la temperatura de la misma y la temperatura de el agua de enfriamiento para el intercambiador de calor.

En los que sigue utilizaremos la siguiente nomenclatura:

- P presión atmosférica, N/m^2
 - Pwe presión de vapor de equilibrio para CL2Ca, N/m^2
 - xi concentración de la solución CL2Ca Kg/kg .
 - m flujo másico Kg/seg.
 - h entalpía J/kg
 - w humedad absoluta kg/Kg
 - Qt carga térmica total
 - R razón de transferencia de masa, Kg/m^2seg
 - A área de transferencia m^2
 - q' relación entalpía humedad J/Kg
 - R Constante universal de los gases
 - M peso molecular Kg/Kgmol
 - t temperatura
 - q carga térmica sensible
- Subíndices

- e equilibrio
- su suministro
- a aire
- c confort
- ab deshumificador
- enf enfriamiento
- v vapor
- fw cambio de fase

El balance de calor en el espacio a acondicionar es:

$$1) m_a (h_4 - h_1) = q + h_{fw} \quad mw = Q_t$$

de donde

$$2) m_a = Q_t / (h_4 - h_1)$$

La entalpía del aire en las condiciones de confort es h_1 y es conocida.

Para una relación de entalpía humedad es tablecida, es decir para una relación de las componentes sensible y latente de la carga térmica dada tenemos

$$3) q' = Q_t / mw = (q + mw h_{fg}) / mw = \Delta h / \Delta w$$

La disminución de la entalpía del aire de suministro ($h_4 = h_{su}$) implica una disminución de la cantidad de aire a recircular, lo que es de importancia para obtener COPs elevados. Esto es así cualquiera sea la relación de entalpía humedad desde el punto de vista económico conviene entonces lograr las entalpías de suministro lo más bajas posibles.

Del diagrama de la fig. 2 se puede inferir que la entalpía del aire de suministro queda determinada por las líneas $ten = cte.$ (temperatura del agua de enfriamiento) y $We = cte.$ (humedad de equilibrio a la salida del deshumificador). Disminuir la $tenf$ o la We redundará positivamente en la reducción de la entalpía de aire de enfriamiento. Esta última depende de la concentración y temperatura de la solución en el deshumificador. Por lo tanto podemos concluir que determinada la carga térmica total y los parámetros externos $tenf$, $tsol$, xi , queda totalmente definida la cantidad de aire que se debe recircular.

Este análisis conduce a una metodología de dimensionamiento.

Dados los datos Qt , $tenf$, xi , $Tsol$:

- a) Se calcula la humedad de equilibrio del aire con la solución de CL2Ca

Partiendo de la definición de humedad absoluta y considerando como es habitual que tanto el aire seco como el vapor de agua se comportan, a presión atmosférica, como gases ideales, se tiene (3):

$$W = \frac{mv}{ma} = \frac{Pv V M_w / RT}{Pa V M_a / RT} = \frac{Mv Pv}{Ma Pa} = 0.622 \frac{Pv}{Pa}$$

aplicando la regla de Dalton de la suma de las presiones parciales

$$W = 0.622 Pv / (P - Pv)$$

por lo que para el caso particular

$$4) We = 0.622 Pwe / (P - Pwe)$$

la presión de vapor del aire en equilibrio con la solución puede calcular con la correlación de Mullik (4):

$$Pwe = (-3252 + 2666/xi) \exp(0.005(t - 41.5))$$

- b) Se calcula la entalpía del aire de suministro a partir de We y $Tenf$

$$h_4 = h_{su} (1005 + 1884 w) t + 2502 300 w$$

esta expresión para la entalpía toma OC como temperatura de referencia para el aire y para el agua (5)

c) Se calcula ma

$$7) ma = Q_t / (h_4 - h_1)$$

d) Se dimensiona el área de transferencia del abosrberdor

$$8) Aab = mwab / Rab = ma (Wc - We) Rab$$

Rab = razón de transferencia de masa

e) Se dimensiona el área de transferencia del enfriador evaporativo

$$9) A_{enf} = (m wab - mw) / R_{enf}$$

$$10) Mw = Ma (Wc - Wsu)$$

$$11) A_{enf} = ma (Wsu - We) / R_{enf}$$

Wsu puede calcularse con

$$12) Wsu = We - (hc - hsu) / q'$$

Estos cálculos pueden realizarse manual o automáticamente con facilidad. La Ta bla 2 muestra los resultados para una corrida de nuestro programa DIMDE1.

Conclusiones

Se ha comentado algunas características del equipo de acondicionamiento de aire construido. La labor de mayor importancia, su ensayo evaluación podrá ser comenzada en los próximos meses.

Bibliografía

- 1 - L. Cardón, G. Chiarito, G. Lesino. "Prototipo de acondicionamiento de aire mediante deshumidificación en friamiento evaporativo", Presentado en la 10ma. Reunión de ASADES, Neuquén, 1985.
- 2 - L. Cardón, F. Franco. "Absorción de vapor de agua en torres de relleno". Presentado en la 10ma. reunión de trabajos de ASADES, Neuquén, 1985.
- 3 - Fundamentos de Termodinámica. Van Wylen G.J. y R.E. Sontang. Limusa 1973.
- 4 - Gandhidasan P. y H. Robinson. Analysis and simulation of forced flow solar collector-regenerator. Intern. Passive and Hibrid Conf. Miami, 1981.

- 5 - Operaciones de transferencia de Masa. Treybal R.E. Mc Graw Hill, 1980.

TABLA I

D:	Dato	
S:	Salida	
D:	Temperatura de confort	: 25 C
D:	Humedad relativa de confort	: 55%
S:	Humedad absoluta de confort	: 0,0108 Kg/Kg
S:	Entalpía de confort	: 52387 J/Kg
D:	Carga Térmica Total	: 500 w
D:	Temperatura de trabajo de la solución	: 23 C
D:	Concentración de la solución	: .43 Kg/Kg
S:	Humedad relativa a la salida del deshumidificador	: 41%
S:	Humedad absoluta a la salida del deshumidificador	: .00725 Kg/Kg
D:	Temperatura del agua de enfriamiento	: 18 C
S:	Entalpía del aire de suministro	: 36500 J/Kg
S:	Flujo de aire requerido	: 3.14 10 ⁻² Kg/seg
S:	Flujo de aire requerido	: 164 Kg/hr
D:	Razón de transferencia de masa	: .695 10 ⁻⁶ Kg/m ² seg
S:	Area de tela necesaria	: 82 m ²

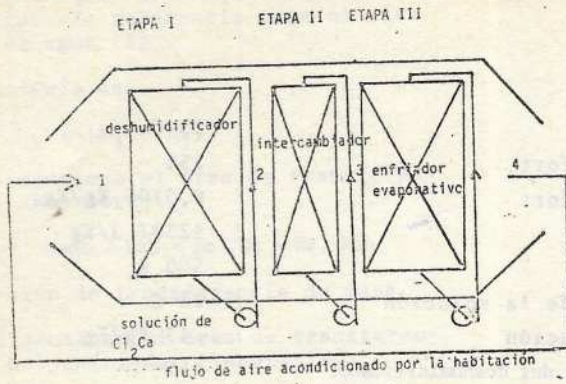


Fig. 1. Esquema del equipo acondicionador, el aire tomado de la habitación en las condiciones de confort es secado, enfriado y enfriado evaporativamente.

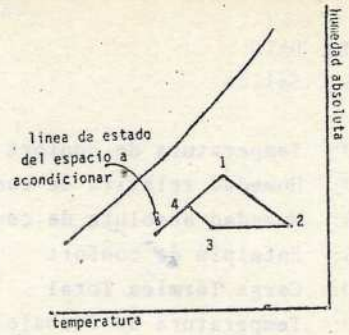


Fig. 2. Ciclo efectuado por el aire. El vapor de agua retirado de la habitación es expelido a la atmósfera en la regeneración.

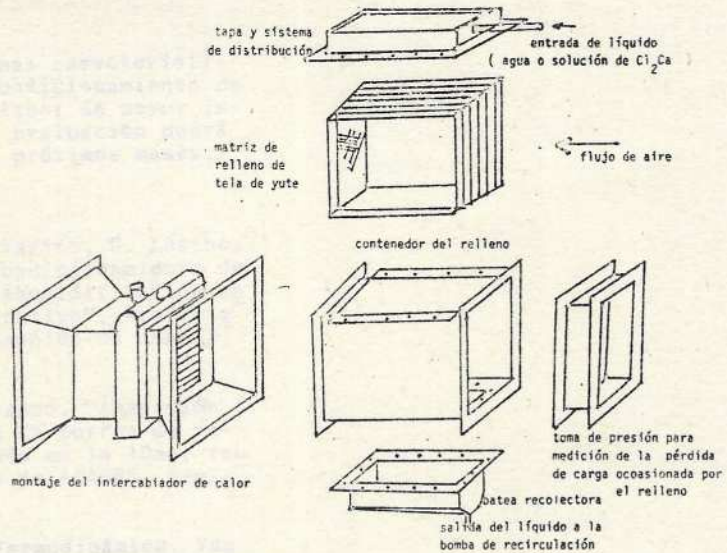


Fig. 3. Despiece del equipo construido.